

PCLNGタンクの杭基礎設計（その1）地盤改良の合理化について

東北電力株式会社 土木建築部 法人会員 ○ 金子 直樹
東北電力株式会社 土木建築部 正会員 和田 宙司

1. はじめに

現在計画中の PCLNG タンクは軟岩を支持層とした杭基礎形式であり、支持層上部には沖積砂層が分布する。LNG タンク地上式貯槽指針¹⁾では、軟岩の先端支持力が低く評価されているため、本地点の設計鉛直支持力の半分以上は周面支持力となっている。この砂層は、地震時に液状化の恐れがあることから、支持力確保のために地盤改良を行う必要があるが、指針では、液状化の程度に応じて周面支持力度等の低減係数を定めており、杭の支持力に影響のない範囲で液状化を許容することで、地盤改良の合理化を図ることとした。

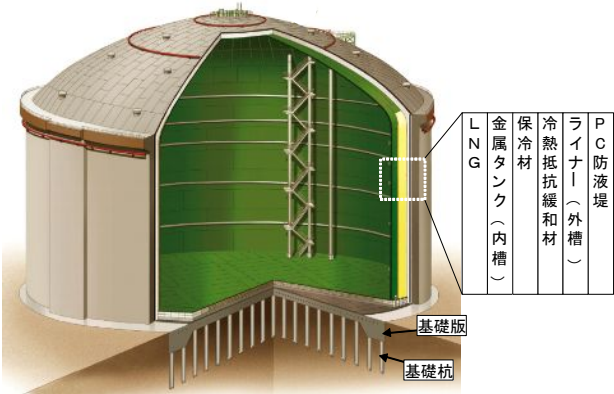


図 1 PCLNG タンク概要図

2. PCLNG タンクの概要

PCLNG タンクは、図 1 に示すように防液堤と金属製タンクを一体化したコンパクトな構造となっており、従来、防液堤が占めていた面積が大幅に減少することで、敷地の有効利用が可能となる。一方、漏液時の液深は高くなるため、防液堤を PC 造とすることで、緊張力により圧縮領域を確保して液密性を満足している。

表 1 地質概要

記号	土質区分	層厚	平均N値	粒度
As1	細中砂 (褐色)	約10m	17	F _c =5.8% D ₅₀ =0.29mm D ₁₀ =0.13mm
As2	細砂 (暗灰色)	約10m	17	F _c =9.4% D ₅₀ =0.20mm D ₁₀ =0.09mm
T _g	火山礫凝灰岩 凝灰質砂岩			

3. 地盤概要

LNG タンク設置位置の地質概要を表 1 に示す。支持層は、火山礫凝灰岩等からなる軟岩であり、その上に平均 N 値約 17 の細中砂～細砂が厚さ 20m 程度で分布する。砂層の粒度は、F_c≤35%、D₅₀≤10mm かつ D₁₀≤1mm の範囲にあり、液状化判定の対象地盤である。

4. 液状化判定について

液状化判定はレベル 1 およびレベル 2 地震動に対して行う。設計水平震度(地表面)はレベル 1 で 0.24、レベル 2 で 0.48 である。液状化判定は、FL 値(=動的せん断強度比 R/地震時せん断応力比 L)によるが、FL 値はボーリング毎、深度 1m 毎に算出されるため、本検討では、タンク周りのボーリング(4 本)のいずれかにおいて、同一層内で FL 値が 2 連続または 3 点以上で 1 以下となる場合に、液状化の恐れがある土層として取り扱うこととした。液状化判定結果例を表 2 に示す。

表 2 液状化判定結果(原地盤, レベル 1)

深度	A-1	A-2	A-3	A-4	
1.30	**1	**1	**1	**1	As1層
2.30	**1	**1	**1	**1	
3.30	1.303	1.240	1.386	1.305	
4.30	11.949	9.684	5.047	1.234	
5.30	3.359	1.026	6.208	1.143	
6.30	1.019	1.748	1.233	0.942	
7.30	1.093	0.984	7.610	2.042	
8.30	1.724	1.030	6.485	2.652	
9.30	0.987	0.987	1.301	0.954	
10.30	0.937	0.730	0.975	1.055	
11.30	1.078	0.735	0.783	0.778	As2層
12.30	0.760	0.967	0.831	0.665	
13.30	1.314	0.880	0.631	0.879	
14.30	0.703	0.671	0.792	0.643	
15.30	0.757	0.568	0.508	0.592	
16.30	0.656	0.616	0.842	0.605	
17.30	0.660	0.696	0.759	-	
18.30	0.692	0.774	0.648	-	
19.30	0.690	0.731	0.751	-	
As1層	しない	する	しない	しない	する
As2層	する	する	する	する	する

**1 は地下水位以浅

5. 土質定数低減係数について

液状化の恐れのある土層については、設計用土質定数に表3に示す低減係数DEを乗じるが、指針では、低減係数DEは液状化の程度や深度に応じて設定されていることから、レベル1地震動に対して $DE=1$ 、レベル2地震動に対して $DE \geq 2/3$ を満足する範囲で液状化を許容することで、地盤改良の合理化を図ることとした。

6. 地盤改良効果の評価

地盤改良はサンドコンパクションパイル(SCP)工法とした。砂杭は、図2に示す正方形配置、砂杭径は700mmとし、砂杭中間において所定の改良後N値を満足する砂杭ピッチを検討した。改良後N値は、図3に示すSCP施工実績²⁾を参考に、改良率および原地盤N値に応じた上限値を設定して安全側に評価した。地盤改良範囲は、地震時の杭の受動抵抗を確保するため、杭の仮想固定点からのばした受動崩壊角が地表面と交差する範囲(タンク径約80m、地盤改良範囲の径約100m)とした。

7. 地盤改良合理化検討

砂杭ピッチと土質定数低減係数の関係を表4に示す。原地盤では、各土層ともレベル1地震動で液状化の恐れがあり、As2層の低減係数DEは2/3である。レベル1地震動に対して液状化を許容しない場合、砂杭ピッチは1.5mとなり、この場合はレベル2地震動に対してもDEは1となっている。液状化を許容した場合の砂杭ピッチは2.2mであり、レベル1地震動に対してはAs2層が液状化の恐れがあるものの、低減係数は1となり目標を満足する。砂杭ピッチを1.5mから2.2mにすることで、砂杭本数は約3600本から約1700本と半減する。なお、砂杭ピッチ2.2mの場合、改良率は7.95%、改良後の平均N値は約24である。

8. おわりに

指針では液状化に応じて低減係数DEが設定されていることを踏まえ、杭の支持力に影響のない範囲で液状化を許容することで、SCPの砂杭本数を約半分まで低減した。杭の先端支持力については、別途実施した試験杭の鉛直載荷試験より、指針以上の支持力を有することを確認しており、今後、基礎杭本数の低減のほか、地盤改良の省略も含めた合理化を図る予定である。

参考文献：1) (社)日本ガス協会：LNG 地上式貯槽指針，pp. 254～258(2002) 2) (社)地盤工学会：液状化対策工法，p238(2004)

表3 土質定数の低減係数DE

FL値の範囲	深度x(m)	動的せん断強度比R	
		$R \leq 0.3$	$0.3 < R$
$FL \leq 1/3$	$0 \leq X \leq 10$	0	1/6
	$10 < X \leq 20$	1/3	1/3
$1/3 < FL \leq 2/3$	$0 \leq X \leq 10$	1/3	2/3
	$10 < X \leq 20$	2/3	2/3
$2/3 < FL \leq 1$	$0 \leq X \leq 10$	2/3	1
	$10 < X \leq 20$	1	1

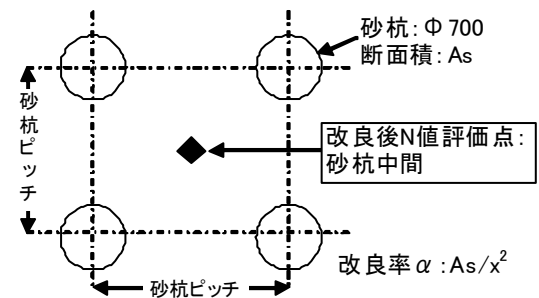
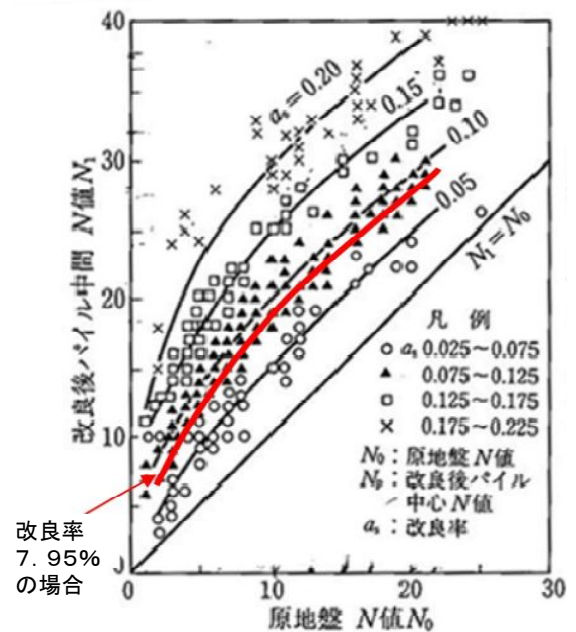


図2 砂杭の配置



(a) 原地盤N値 N_0 とパイル間N値 N_1 の関係

図3 改良後N値の上限値について

表4 砂杭ピッチと低減定数DEの関係

(1)レベル1地震動

土層	原地盤	地盤改良後	
	SCPなし	砂杭ピッチ 2.2m	砂杭ピッチ 1.5m
As1	1	—	—
As2	2/3	1	—

(2)レベル2地震動

土層	原地盤	地盤改良後	
	SCPなし	砂杭ピッチ 2.2m	砂杭ピッチ 1.5m
As1	1	—	—
As2	2/3	2/3	1

※—：液状化しない